

намагниченности слабомагнитного плоского образца, выполненного из материала – нержавеющей сталь типа Х18Н10Т, на основании магнитных испытаний в переменном магнитном поле.

**Список литературы:** 1. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов. – М.: Энергия, 1969. – 360 с. 2. Испытание магнитных материалов и систем / Под ред. А.Я. Шихина. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с. 3. Себко В.П., Игнатъева С.Н. Определение квазистатической кривой намагничивания слабомагнитных материалов // Сборник научных трудов ХГПУ "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". – Вып. 6. – Ч. 2. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – С. 292-294. 4. Себко В.П., Игнатъева С.Н. Восстановление квазистатических кривых намагничивания // Український метрологічний журнал. – Харків: ДНВО "Метрологія". – 1998. – Вип. 3. – С. 28-31.

УДК 620.179.111

**ГЛОБА С.Н.**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ" (г. Харьков);  
**ХОМЯК Ю.В.**, аспирант, НТУ "ХПИ" (г. Харьков);  
**ЗУБЕНКО С.П.**, магистр, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

### **КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ КАПИЛЛЯРНЫМ ЦВЕТНЫМ МЕТОДОМ**

Описано особливості використання капілярного неруйнівного контролю, методи капілярного неруйнівного контролю, дефектоскопічні матеріали. Проаналізовано послідовність технологічних етапів проведення капілярного контролю. Проведено капілярний контроль кольоровим методом за допомогою дефектоскопічного набору NORD-TEST (HELLING GMBH) на зразку.

The features of leadthrough of nondestructive liquid penetrant method are described. Materials for fault detection are considered. The sequence of the technological stages of leadthrough of liquid penetrant method is analyzed. NORD-TEST (HELLING GMBH) was used. Object from steel was tested by a liquid penetrant method. There were natural and artificial surface cracks on this object.

Неразрушающий контроль позволяет своевременно найти и устранить причину возможных разрушений, диагностировать предаварийное состояние объектов контроля (ОК), а также гарантировать безопасную для человека и окружающей среды эксплуатацию технического объекта [1].

Капиллярный неразрушающий контроль (КНК) предназначен для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов в ОК, определения их расположения, протяженности (для дефектов типа трещин) и ориентации по поверхности. Этот вид контроля позволяет диагностировать объекты любых размеров и форм, которые изготовлены из черных и цветных металлов, сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также других твердых неферромагнитных материалов [1-5]. Например, изделия из ферромагнитных материалов обычно контролируют магнитопорошковым методом, который более чувствителен, но когда по условиям эксплуатации не допускается применять магнитопорошковый метод, тогда применяют КНК. Контроль капиллярным методом проводят до ультразвукового или магнитопорошкового.

КНК позволяет находить трещины в лопатках турбин двигателей самолета, в сварном шве газо- и нефтепровода. Обладая высокой чувствительностью (в пределе он может обнаружить трещины с раскрытием 0,1 мкм), капиллярный контроль не требует сложных и дорогостоящих технических средств, технология его сравнительно проста и дефектоскопические материалы вполне доступны.

Методы КНК подразделяются на два вида [1]:

1. Основные методы КНК, которые используют капиллярные явления.
2. Комбинированные методы КНК.

В зависимости от типа проникающего вещества существуют такие основные методы КНК [1-3]:

- 1) метод проникающих растворов – жидкостный метод КНК, основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора;
- 2) метод фильтрующихся суспензий – жидкостный метод КНК, основанный на использовании в качестве жидкого проникающего вещества индикаторной суспензии.

В зависимости от способа выявления индикаторного рисунка основные методы КНК [1] делят на следующие:

- 1) люминесцентный – основан на регистрации контраста люминесцирующего видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в длинноволновом УФ-излучении (в КНК люминесценцию используют как один из способов усиления контраста для визуального обнаружения индикаторных пенетрантов после проявления);
- 2) цветной – основан на регистрации контраста цветного индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в видимом излучении (является наиболее распространенным среди капиллярных методов НК);
- 3) люминесцентно-цветной – основан на регистрации контраста цветного или люминесцентного индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в видимом или длинноволновом УФ-излучении;
- 4) яркостный (ахроматический) – основан на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности ОК.

При КНК применяют и используют капиллярные дефектоскопические материалы для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатков с целью получения первичной информации о наличии несплошности в ОК. Основные дефектоскопические материалы – индикаторный пенетрант, проявитель, очиститель и гаситель [2]. Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, которые предъявляются к ОК, состояния ОК, условий контроля и укомплектовывают в целевые наборы

дефектоскопических материалов, куда входят полностью или частично совместимые основные дефектоскопические материалы.

Технология проведения капиллярного неразрушающего контроля является многооперационной. Технологический режим операций КНК (продолжительность, температуру и давление) устанавливают в зависимости от используемого набора дефектоскопических материалов, особенностей ОК и типа искомых дефектов, условий контроля и используемой аппаратуры.

Цель работы – изучение последовательности выполнения технологических операций при цветном методе КНК, освоение дефектоскопического набора NORD-TEST (HELLING GMBH, Германия) и проведение КНК на конкретном образце.

Типовой технологией КНК [3] являются следующие основные этапы технологических операций обработки контролируемого изделия (рис. 1):

1 этап – подготовка объекта к контролю (включает очистку контролируемой поверхности и полостей дефектов от всевозможных загрязнений, а также сушку контролируемой поверхности и полостей дефектов. Цель подготовки объекта к контролю – освободить полость дефекта и контролируемую поверхность от всего, что мешает жидким дефектоскопическим материалам контактировать с поверхностью и обеспечивать ее равномерное смачивание индикаторной жидкостью);

2 этап – нанесение пенетранта с заполнением полостей дефектов (заполнение полостей дефектов индикаторным пенетрантом происходит благодаря явлению смачивания. Цель этой операции – предельно возможное заполнение дефекта индикаторной жидкостью. Способы: капиллярное заполнение; вакуумное заполнение; компрессионное заполнение; ультразвуковое заполнение; деформационное заполнение);

3 этап – промежуточная очистка (состоит в удалении избытка пенетранта с контролируемой поверхности при сохранении пенетранта в полости трещины, чтобы при регистрации избежать ложных следов и появления сильного фона на контролируемой поверхности, что затрудняет обнаружение истинных дефектов. Избыток индикаторного пенетранта удаляют или гасят на контролируемой поверхности одним из следующих способов: протиранием салфетками с применением при необходимости очищающего состава или растворителя; промыванием водой или специальным очищающим составом; обдуванием струей песка, дроби; воздействием на пенетрант гасителем люминесценции или цвета);

4 этап – сушка контролируемой поверхности;

5 этап – нанесение проявителя и проявление следов дефектов (нанесение проявителя на контролируемую поверхность, обработанную индикаторной жидкостью, производится для извлечения пенетранта из дефекта с целью обнаружения трещины или другого дефекта. Это обеспечивается тем, что на фоне основного неокрашенного проявителя возникает индикаторный рисунок, который контрастирует с основным (обычно белым) фоном. Проявление дефектов – это процесс образования контрастного рисунка на проявителе в месте расположения выхода дефекта на контролируемую поверхность. Этот окрашенный участок принято называть следом. Чем больше контраст достигается между цветным рисунком (следом) и проявителем (фоном), тем выше чувствительность, тем больше вероятность обнаружения дефекта);

6 этап – Проверка контролируемой поверхности, обнаружение дефектов, документирование и расшифровка результатов контроля.

На основании типовой технологии контроля был поэтапно проведен капиллярный контроль детали цветным методом.



Рис. 1. Последовательность выполнения операций при капиллярном контроле деталей цветным методом.



Рис. 2. Дефектоскопический набор NORD-TEST (HELLING, Германия).



Рис. 3. ОК – подошва рельса.



Рис. 4. ОК с нанесенным пенетрантом.



Рис. 5. Результат контроля.

Капиллярный контроль проводился цветным методом с использованием средств из набора NORD-TEST (HELLING GMBH, Германия): очиститель U87, пенетрант U88 и проявитель U89 (см. рис. 2) – аэрозольные баллоны 500 мл. Информация по дефектоскопическим материалам [6], входящим в набор NORD-TEST, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Дефектоскопический набор NORD-TEST

Очиститель U87	Пенетрант U88	Проявитель U89
Экологически безопасный очиститель на спиртовой основе. Быстро испаряется, не оставляя следов.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокая чувствительность</li> <li>• хорошо смывается водой</li> <li>• имеет незначительный запах</li> <li>• чувствительность согласно: DIN EN ISO 3452-2 – II-уровень (высокочувствительный)</li> </ul> ПРФЭ Г-7-018-89–II класс	<ul style="list-style-type: none"> <li>• очень мелкозернистый белый порошок на спиртовой основе</li> <li>• не содержит ароматических добавок.</li> </ul>

В качестве исследуемого образца была использована стальная плита, представляющая собой срез подошвы рельса из стали марки У8 (см. рис. 3). Образец имел две выходящие на поверхность несплошности – протяженная усталостная трещина и пропилен глубиной 0,5 мм с раскрытием 0,14 мм.

Очистка контролируемой поверхности детали и полостей дефектов от всевозможных загрязнений проводилась с помощью очистителя U87. После пятиминутного просушивания на поверхность образца равномерно распылялся пенетрант U88, имеющий ярко красный цвет (см. рис. 4). Спустя некоторое время сухой не ворсистой тканью с поверхности ОК были удалены остатки пенетранта. Затем на ОК наносился проявитель U89 и окончательно был получен результат контроля (см. рис. 5). Как видно из рис. 5 отображаемый след дефектов – это красные линии на мелованной белой поверхности проявителя.

В результате проведенного капиллярного контроля цветным методом можно сделать следующие выводы: по технике безопасности контроль необходимо выполнять в проветриваемом помещении с использованием перчаток и респиратора; операция подготовки поверхности ОК является особенно важной; КНК позволяет контролировать одновременно всю поверхность ОК; выявляемость дефектов не зависит от их глубины; достоверность и наглядность КНК цветным методом при сравнительной простоте проведения контроля.

Следует отметить, что хорошие результаты дает применение дефектоскопического набора NORD-TEST фирмы HELLING GMBH. Набор оказался весьма удобным в использовании, спреи дают равномерный поток независимо от остаточного количества в баллоне вещества и при истечении длительного срока остаются пригодными для работы (отсутствует засыхание сопла распылителя). Хорошие результаты данный набор показывает при низких температурах атмосферы и объекта контроля, то есть в зимнее время. Проникающая способность пенетранта практически не зависит от температуры. После проведения контроля деталь легко очищается и приводится в исходное состояние.

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клочова. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с. 2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клочова. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд.,

испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с. 3. Горкунов Б.М., Глоба С.Н. Капиллярный неразрушающий контроль. Чувствительность и оценка результатов контроля: Учебн.-метод. пособие. – Харьков: НТУ"ХПИ", 2005. – 72 с. 4. M.V. Filinov, A.S. Fursov, Penetrant Testing: The Software Tool for Comparison of Sensitivity and Estimation of Contrasts, Color and Brightness Characteristics of Penetrant Systems, Proceedings of 9th European Conference on Non-Destructive Testing, Berlin 2006, Th.1.8.1 5. N.P. Migoun, A.B. Gnusin, M. Stadthaus, G.-R. Jaenisch. New Potentials of Penetrant Testing, Proceedings of 9th European Conference on Non-Destructive Testing, Berlin 2006, Th.1.8.4 6. Рекламный проспект HELLING GMBH. Неразрушающий контроль, 2004. – 37 с.

УДК 621.7.064.52

**К. В. БЕЗРУЧКО**, д.т.н., проф.; **А. О. ДАВИДОВ**, к.т.н., с.н.с.; **С. В. СИНЧЕНКО**, н.с.; **А. Л. АЗАРНОВ**, с.н.с.,  
**А. А. ХАРЧЕНКО**, н.с.; **С. В. ШИРИНСКИЙ**, м.н.с., Национальный аэрокосмический университет  
им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

## **ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

У статті розглянуті особливості діагностики електрохімічних акумуляторів енергетичних установок літальних апаратів, розглянута актуальність вибраної теми, поставлена задача дослідження, проведено аналіз методів визначення характеристик електрохімічних акумуляторів (внутрішнього опору, розрядної ємності, току саморозряду) енергоустановок літальних апаратів.

In the given article it was considered the special features of diagnosing of chemical accumulators of power supply systems of aircraft, considered the urgency of the chosen topic, posed a problem of research, analyzed the methods of determining the characteristics of chemical accumulators (internal resistance, discharge capacity, self-discharge current) of power supply systems of aircraft.

**Введение.** На сегодняшний день наблюдается тенденция сокращения сроков эксплуатации объектов ракетно-космической техники из-за ограниченного ресурса данных объектов. При эксплуатации энергоустановок (ЭУ) летательных аппаратов (ЛА) очень важным вопросом является ресурс системы электроснабжения. Стабильная и устойчивая работа ЭУ во многом зависит от характеристик электрохимических аккумуляторов (АК) в составе химической батареи (БХ). Поэтому диагностика отдельных АК и БХ в целом, дает возможность оценить состояние ЭУ, а при необходимости принять меры для устойчивой работоспособности ЭУ ЛА в дальнейшем.

**Актуальность исследований.** Задача диагностики АК возникает на разных этапах работы с ними: для проверки качества нового АК, для определения технического состояния и работоспособности АК на различных этапах его эксплуатации, при плановых тестированиях и т.д.

Под техническим состоянием АК понимается совокупность его внутренних свойств, подверженных изменениям при производстве и эксплуатации, характеризующих соответствие или несоответствие качества АК требованиям, установленным эксплуатационно-технической документацией.

Из обзора и анализа литературных источников [3-7] следует, что определение технического состояния АК в составе БХ является приоритетной задачей по следующим причинам:

- БХ – важный элемент ЭУ, определение его технического состояния помогает оценить дальнейшую вероятность безотказной работы ЭУ в целом;
- отсутствуют необходимые математические модели БХ, обеспечивающие достоверную оценку состояния и прогноз характеристик отдельных АК;
- решение о прекращении или продлении работы АК, прогнозирование дальнейшей работоспособности АК возможно только путем оценки его состояния.

Определение технического состояния АК позволяет на ранних стадиях выявить возможность возникновения отказов, а также разработать пути решения возникшей проблемы и прогнозировать их работу.

Основными целями диагностики АК являются: определения текущего состояния – прежде всего это определение электрических характеристик, в том числе текущей емкости, саморазряда, вольт-амперных и зарядно-разрядных характеристик, эффективности заряда и разряда с дальнейшим анализом этих характеристик.

В связи с этим, определение текущего состояния АК для оценки технического ресурса ЭУ и другими словами диагностика технического состояния является актуальной задачей для исследования.

**Постановка задачи.** В вопросе диагностики электрохимических АК можно выделить два направления исследований: теоретическое и экспериментальное, они неразрывно связаны между собой.

К теоретическому направлению относятся следующие:

- разработка математических моделей диагностики АК или БХ, которые обеспечивают формальное описание взаимосвязей между принятыми к распознаванию техническими состояниями и признаками состояний АК или БХ;
- разработка и построение диагностических тестов для распознавания работоспособного состояния и поиска места отказа (дефекта) АК или БХ;
- разработка методов прогнозирования работоспособного состояния на заданный период времени работы АК или БХ.

К экспериментальному направлению относятся следующие основные задачи:

- экспериментальное определение параметров и характеристик АК или БХ их при нормальном функционировании;
- определение необходимого перечня наиболее вероятных неработоспособных состояний, т. е. определение дефектов элементов (электрода, сепаратора, электролита) АК, которые следует различать в процессе диагностики;
- уточнение математической модели АК или БХ;
- выбор объема и глубины тестовых воздействий и признаков технических состояний АК или БХ;